

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-118853

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月30日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 1 R 27/28
/ 35/00

識別記号

F I

G 0 1 R 27/28
35/00

Z
J

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-228121

(22) 出願日 平成10年(1998) 8月12日

(31) 優先権主張番号 9 1 8 3 4 0

(32) 優先日 1997年 8月26日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 398038580

ヒューレット・パカード・カンパニー
HEWLETT-PACKARD COM
PANY

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル
ト ハノーバー・ストリート 3000

(72) 発明者 ジェイソン・エイ・チョドラ

アメリカ合衆国カリフォルニア州95403,
サンタ・ローザ, ディアウッド・ドライ
ヴ・5079

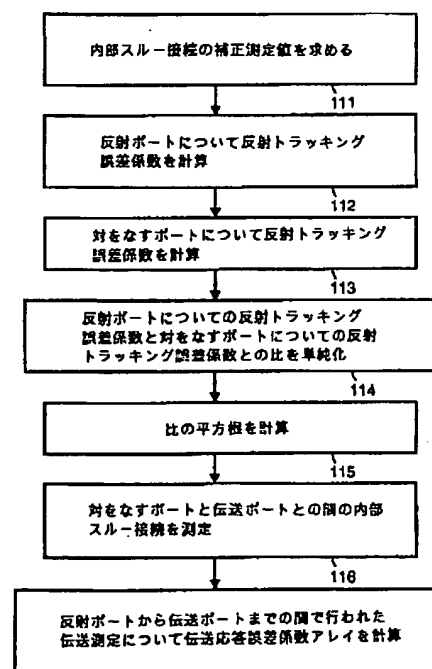
(74) 代理人 弁理士 古谷 馨 (外2名)

(54) 【発明の名称】 ネットワークアナライザの自動較正

(57) 【要約】

【課題】 長時間を要することなくマルチポート検査装置の完全な伝送較正を可能にするネットワークアナライザシステムの較正方法を提供すること。

【解決手段】 マルチポート検査装置(22)に接続された無線周波数ネットワークアナライザシステム(21)が較正される。マルチポート検査装置(22)中の各検査装置ポート毎に初期較正が実施される。該初期較正は、まず最初に較正基準を利用して測定較正を実施することにより行われる。該較正基準は、マルチポート検査装置(22)の外部に配置された基準平面内に位置する。該測定較正により初期較正係数が得られる。該初期較正には、マルチポート検査装置(22)内の電子基準(73~77, 80, 83)を測定して初期測定電子基準を生成することも含まれる。前記初期較正係数及び前記初期測定電子基準を利用して初期補正電子基準が生成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】ネットワークアナライザシステム(21, 22)の較正を実施するための方法であって、(a)ネットワークアナライザシステム(21, 22)の各検査ポート(24, 25, 31~42)の初期較正を実施する初期較正ステップであって、

(a.1)ネットワークアナライザシステム(21, 22)の外部に配置された基準平面内に位置する較正基準を使用して測定較正を実施して初期較正係数を生成し、

(a.2)ネットワークアナライザシステム(21, 22)内の電子基準(73~77, 80, 83)を測定して初期測定電子基準を生成し、

(a.3)前記初期較正係数及び前記測定電子基準を使用して初期補正電子基準を生成する、という各サブステップを含む、初期較正ステップと、(b)自動再較正を実施する自動再較正ステップであって、

(b.1)ネットワークアナライザシステム(21, 22)内の電子基準(73~77, 80, 83)を測定して再較正測定電子基準を生成し、

(b.2)該再較正測定電子基準及び前記初期補正電子基準を使用して再計算較正係数を生成する、という各サブステップを含む、自動再較正ステップとを有することを特徴とする、ネットワークアナライザシステムの較正方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、無線周波数及びマイクロ波ネットワークアナライザに関し、特に、ネットワークアナライザの自動較正に関するものである。

【0002】

【従来の技術】無線周波数(RF)ネットワークアナライザシステムは、ネットワークアナライザから構成され、マルチポートテスト装置を含むことが可能である。ネットワークアナライザは、合成無線周波発生源を、信号分離のための組み込みカプラ、狭帯域受信器、ディスプレイ、及びプロセッサと一体化したものである。

【0003】測定較正は、信号処理中に誤差補正アレイを利用して系統的な測定誤差を補償することにより測定精度を向上させるプロセスである。測定較正は、Cal、精度の向上、及び誤差補正とも呼ばれる。測定誤差は、ランダム誤差と系統的誤差とに分類される。ノイズ及びコネクタの繰返し精度といったランダム誤差は、繰返し性のないものであり、測定較正により補正することはできない。

【0004】トラッキング及びクロストークといった系統的誤差は、大部分のRF測定において最も重要な誤差である。系統的誤差は、繰返し性のあるものであり、その殆どの部分を補正することが可能であるが、僅かな残留誤差が残る可能性がある。これらの系統的誤差は、時間及び温度に応じてドリフトし得るものである。

【0005】系統的誤差は、システムの周波数応答、信号経路間の分離、及びテスト機器における不整合に起因するものである。周波数応答誤差(伝送及び反射トラッキング)は、周波数の関数となる利得誤差である。

【0006】分離誤差は、伝送測定における信号経路間のエネルギー漏洩によって生じる。この漏洩はクロストークによるものである。また、反射測定の場合には、該漏洩は不完全な指向性によるものである。指向性は、順方向に進行する信号を逆方向に進行する信号から分離させる信号分離装置の能力である。

【0007】不整合誤差は、被検査装置(DUT)のポートインピーダンスとネットワークアナライザのポートインピーダンスとの差から生じる。ソース整合誤差は、DUTのソース側(ネットワークアナライザのRF OUT側)で生じ、負荷整合誤差は、負荷側(ネットワークアナライザのRF IN側)で生じる。DUTがポートに直接接続されていない場合には、ケーブル及びアダプタ等起因する不整合誤差は、ソース整合誤差または負荷整合誤差の一部と考えることができる。

【0008】ネットワークアナライザは、これらの検査システム誤差を測定し補償するための幾つかの方法を有している。各方法は、誤差モデルと呼ばれる方程式を利用して1つまたは2つ以上の系統的誤差を除去する。質の高い基準による(例えば、短絡、開放、負荷、スルーでの)測定を行うことにより、ネットワークアナライザは、誤差モデルにおける誤差項について解くことが可能になる。較正された測定値の精度は、利用される基準の質及び測定システムの安定性によって決まる。較正の基準が極めて精密であるため、優れた精度を得ることができる。

【0009】伝送較正を実施するためには、4つの測定基準(standard)、例えば、開放、短絡、負荷、及びスルーケーブルが利用される。ネットワークアナライザは、予め決定された数のポイントを用いて所定の周波数帯域にわたり各基準について測定を行う。これらの基準についての測定は、誤差モデルにおける誤差項について解を求めるため、及び周波数応答及びソース整合により生じる系統的誤差を除去するために利用される。

【0010】また、反射較正を実施するためには、3つの測定基準、即ち、開放、短絡、及び負荷を利用して、1ポート較正が実施される。ネットワークアナライザは、予め決定された数のポイントを利用して所定の周波数帯域にわたり各基準について測定を行う。これらの基準についての測定は、誤差モデルにおける誤差項について解を求めるため、及び指向性、ソース整合、及び周波数応答により生じる系統的誤差を除去するために利用される。

【0011】ネットワークアナライザの較正に関する更なる情報については、例えば、ヒューレットパッカード社から入手可能な「HP 8712C 及び HP8714C RF Network

Analyzer User's Guide] (Part No. 08712-90056, October, 1996, pp6-1~6-14)を参照されたい。

【0012】検査装置のスイッチングを行うことにより、ネットワークアナライザの測定能力を単一の対をなすポートから多数のポートへと拡張させることが可能となり、及び被検査装置に対して順方向及び逆方向の測定を行うことが可能になる。検査装置は、ネットワークアナライザを利用して装置を検査する場合に、装置の接続の手動による変更を排除して検査プロセスの完全な自動化を可能にすることにより、スループットを大幅に増大させるものとなる。

【0013】しかし、ネットワークアナライザの後に検査装置を追加すると、ネットワークアナライザシステム本来の性能を大幅に劣化させる可能性がある。更に、検査装置の特性は温度に応じてドリフトする。ベクトル誤差補正は、(ネットワークアナライザ及び検査装置から構成される)システムが極めて優れた性能を達成することを可能にするものであるが、検査装置のドリフトのため、頻繁な再較正が必要になる。装置によっては、マルチポート較正の実施に30分を超える時間を要する可能性があり、また、例えば8時間毎のシフトで、前記実施を頻繁に繰り返すことが必要になる可能性がある。このため、スイッチング検査装置により提供されるスループットの改善が大幅に減じられることになる。

【0014】較正に必要な時間を短縮するために、各種システムには、何らかの自動化機構が組み込まれている。例えば、米国特許第5,434,511号、第5,467,021号、第5,537,046号、第5,548,221号、及び第5,578,932号には、電子的な基準を用いたコンピュータ支援による較正を実施して、較正プロセスを、より時間を要さず、より誤差の発生しないものにする、電子的な較正アクセサリについて記載されている。しかし、これら電子的な較正アクセサリを利用する場合には、手動でモジュールを測定ポートに接続することが必要になる。米国特許第5,587,934号にも、手動接続を必要とする電子的な較正モジュールが記載されている。

【0015】米国特許第5,578,932号には、マルチポート検査装置に電子的な較正を取り入れるための技法が示されている。しかし、この技法は、高精度の特性の電子的基準を利用するものと思われる。これは、現時点では、ネットワークアナライザのフロントパネル上のポート以外の場所における較正を考慮したものである。

【0016】米国特許第5,548,538号には、ネットワークアナライザ内部の較正を含む技法が開示されている。この技法は、検査装置ポートの前面に高精度の特性の2ポートモジュールを追加することを必要とする。検査装置のポートにおける既知の基準に対する該2ポートモジュールについての誤差マトリクスが求められる。次いで該誤差マトリクスを利用して、2ポートモジュール内における電子的な較正基準の反射係数を計算し、それ以降

の自動較正を可能にすることができる。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】しかし、これら既存の技法は全て、マルチポート検査装置に適用した場合に、依然として極めて時間のかかるものであり、マルチポート検査装置の完全な伝送較正に利用する場合には、極めて複雑なものとなる。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明の望ましい実施態様によれば、ネットワークアナライザシステムが較正される。例えば、ネットワークアナライザシステムには、無線周波数ネットワークアナライザまたはマイクロ波ネットワークアナライザが含まれている。ネットワークアナライザシステムにおける各検査ポート毎に初期較正が実施される。該初期較正は、まず最初に較正基準を利用して測定較正を実施することにより行われる。該較正基準は、ネットワークアナライザシステムの外部に配置された基準平面に配置される。該測定較正により初期較正係数が得られる。該初期較正には、ネットワークアナライザシステム内における電子基準を測定して初期測定電子基準を生成することも含まれる。該初期較正係数及び初期測定電子基準を利用して初期補正電子基準が生成される。

【0019】該初期較正の後、自動再較正が周期的に実施される。該自動再較正の実施時に、ネットワークアナライザシステム内の電子基準が測定されて、再較正測定電子基準が生成される。該再較正測定電子基準及び前記初期補正電子基準を利用して再計算較正係数が得られる。

【0020】望ましい実施態様では、電子基準には、開放、短絡、及び負荷が含まれる。ここで、「開放」とは、開回路を近似する回路を意味し、「短絡」とは、短絡回路を近似する回路を意味し、「負荷」とは、反射係数がゼロの回路を近似する回路を意味している。初期較正係数には、3つの反射誤差係数、即ち、指向性(DI R)、ソース整合(SM)、及び反射トラッキング(RT)が含まれている。また該初期較正係数には、1つの伝送誤差係数、即ち伝送トラッキング(TT)も含まれている。

【0021】本発明はまた、ネットワークアナライザに接続されたマルチポート検査装置をネットワークアナライザシステムが備えている場合にも良好に機能する。この場合には、ネットワークアナライザシステムの検査ポートは、マルチポート検査装置の検査装置ポートであり、電子基準は、マルチポート検査装置内に収容されている。

【0022】また、望ましい実施態様では、初期較正中に測定較正を実施する際に、反射較正基準の測定値(R_RAW)が、次に示す誤差モデル方程式に従って、反射較正基準の補正值(R_COR)と関連付けられる。

【0023】

【数1】

$$R_RAW = DIR + \frac{R_COR \times RT}{1 - (SM \times R_COR)}$$

【0024】初期校正中に測定校正を実施する際にはまた、伝送校正基準の測定値 (T_RAW) が、次に示す誤差モデル方程式に従って、伝送校正基準の補正值 (T_CO R) と関連付けされる。

【0025】

【数2】

$$T_COR = \frac{T_RAW}{TT \times (1 - SM \times R_COR)}$$

【0026】望ましい実施態様では、検査装置ポートは、対をなすように分割される。初期校正において測定校正を実施する際に、固定具及びケーブルの伝送応答と対をなすポートの校正スルー伝送応答との第1の比が求められる。該校正スルー伝送応答は、校正スルーラインを用いて検査装置ポートの各対を電氣的に接続することにより求められる。また固定具及びケーブルの伝送応答は、固定具及びケーブルを用いて検査装置ポートの各対を互いに電氣的に接続することにより求められる。例えば、校正スルーラインが電子的にスイッチングされ、また、固定具及びケーブルが基準平面において物理的に接続される。

【0027】第2の検査装置ポートが第3の検査装置ポートと対をなす場合に第1の検査装置ポートと第2の検査装置ポートとの間の伝送応答誤差係数を計算する場合には、第3の検査装置ポートと第2の検査装置ポートの間における内部的な校正スルー経路伝送値の伝送応答が測定される。第3の検査装置ポートと第2の検査装置ポートとの間における内部的な校正スルー経路伝送値の伝送応答には、第1の比及び第2の比が乗算される。第1の比は上述のようにして計算される。また第2の比は、マルチポート検査装置の反射入力と第1のポートとの間における伝送応答と、マルチポート検査装置の反射入力と第3のポートとの間における伝送応答との比である。

【0028】また、望ましい実施態様では、マルチポート検査装置は、反射入力、伝送出力、複数の検査装置ポート、複数のポートライン、第1のスイッチング手段、第2のスイッチング手段、及び複数のインターフェイスを備えている。反射入力は、ネットワークアナライザに接続するためのものである。伝送出力は、ネットワークアナライザに接続するためのものである。各ポートラインは、複数の検査装置ポートのうちの1つの検査装置ポートに関連するものである。第1のスイッチング手段は、複数のポートラインのうちの1つに反射入力を接続する。第2スイッチング手段は、複数のポートラインのうちの1つに伝送出力を接続する。各インターフェイスは、複数の検査装置ポートのうちの1つの検査装置ポートに関連するものである。第1のインターフェイスは、

(4)

特開平11-118853

6

複数の電子基準、第1のインターフェイスに関連する第1の検査装置ポートに対する検査装置ライン、及び選択手段を備えている。該選択手段は、複数の電子基準のうちの1つの電子基準を選択し、または第1のポートラインに接続すべき検査装置ラインを複数のポートラインの中から選択する。第1のポートラインは第1の検査装置ポートに関連している。電子基準のうちの1つは、複数のインターフェイスのうちの第2のインターフェイスに対するスルー伝送ラインを備えている。該第2のインターフェイスは、複数の検査装置ポートのうちの第2の検査装置ポートに関連している。該第2の検査装置ポートは第1の検査装置ポートと対をなしている。

【0029】本発明は、ユーザにより選択された一平面における初期校正に基づく完全に自動的な校正を可能にするものである。更に、本発明は、マルチポート伝送校正を単純化し、全ての検査装置ポート間に「スルー」接続を施すことを必要とせずに該マルチポート伝送校正を実施することを可能にするものである。

【0030】

【発明の実施の形態】図1は、被検査装置 (DUT) 23に接続されたネットワークアナライザシステムを簡素化して示すブロック図である。該無線周波数ネットワークアナライザシステムは、マルチポート検査装置22に接続されたネットワークアナライザ21を備えている。該ネットワークアナライザ21は、例えば、無線周波ネットワークアナライザまたはマイクロ波ネットワークアナライザである。該無線周波数ネットワークアナライザシステムは、マルチポート検査装置22の検査装置ポートを用いて被検査装置 (DUT) 23に接続される。該DUT23は、ポート26及びポート27を有している。ネットワークアナライザ21は、無線周波数 (RF) 出力ポート24と無線周波数 (RF) 入力ポート25とを有している。検査を実施するために、マルチポート検査装置22は、検査装置ポート31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 38, 39, 40, 41, 42のうちの1つに反射ポート28を接続する。同様に、検査を実施するために、マルチポート検査装置22は、検査装置ポート31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 38, 39, 40, 41, 42のうちの他方の1つに伝送ポート29を接続する。マルチポート検査装置22は、図示のように12の検査装置ポートを有しているが、それ以外の個数の (例えば4個、6個、8個等の) 検査装置ポートを有することも可能である。

【0031】図2は、従来技術による無線周波数ネットワークアナライザ21を簡素化して示すブロック図である。無線周波数発生源51は、RF出力ポート24に無線周波数出力信号を送出する。該無線周波数出力信号は、基準信号ライン52及び反射信号ライン53にも接続される。アナログディジタル変換器 (ADC) 58は、ミキサ54、ミキサ56、及びミキサ55に接続される。該ミキサ55は、反射信号ライン53に接続される。

【0032】アナログディジタル変換器58によって受信

される信号は、デジタル信号に変換されて、信号プロセッサ59に送られる。該信号プロセッサ59は、該信号を処理してディスプレイ60上にデータを表示する。信号プロセッサ59は、信号の処理の途中に、較正中に計算された誤差補正アレイデータを使用して測定データの補正を行う。

【0033】図3は、マルチポート検査装置22の一部を示す説明図であり、マルチポート検査装置22のポートのすぐ後方の電子基準を示している。スイッチ61は、反射ポート28に接続すべきインターフェイスを、検査装置ポート31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42のうちの1つから選択する。図3には、検査装置ポート36のインターフェイスを反射ポート28に接続するために用いられるライン69、及び、検査装置ポート35のインターフェイスを反射ポート28に接続するために用いられるライン71が示されている。ライン81は、他の検査装置ポートのインターフェイスを反射ポート28に接続するために用いられるものである。4つのラインしか示していないが、マルチポート検査装置22が12の検査装置ポートを備えている場合には、実際にはライン69, 71に加えて10本のラインが存在する。

【0034】スイッチ62は、伝送ポート29に接続すべきインターフェイスを検査装置ポート31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42のうちの1つから選択する。図3には、検査装置ポート36のインターフェイスを伝送ポート29に接続するために用いられるライン70、及び、検査装置ポート35のインターフェイスを伝送ポート29に接続するために用いられるライン72が示されている。ライン82は、他の検査装置ポートのインターフェイスを伝送ポート29に接続するために用いられるものである。4つのラインしか示していないが、マルチポート検査装置22が12の検査装置ポートを備えている場合には、実際にはライン70, 72に加えて10本のラインが存在する。

【0035】スイッチ68は、検査装置ポート36のインターフェイスがライン69, 70の何れに接続されるかを選択する。スイッチ67は、インターフェイスが、検査装置ポート36に対して選択されるか、又は、開放76、短絡75、負荷80、若しくは較正スルーライン73に対して選択されるかを選択する。開放76、短絡75、負荷80、及び較正スルーライン73は、検査装置ポート36を伴う電子的な較正のための内部的な基準として使用される。開放76、短絡75、及び負荷80は、指向性、ソース整合、及び反射トラッキングの解を得ることを可能にする反射基準である。較正スルーライン73は、伝送トラッキングの解を得ることを可能にする。スイッチ66は、検査装置ポート36を活動状態にするか又は負荷79に接続するかを選択する。

【0036】スイッチ63は、検査装置ポート35のインターフェイスをライン71, 72の何れに接続するかを選択する。スイッチ64は、インターフェイスを検査装置ポート

35に対して選択するか、又は開放74、短絡83、負荷77、若しくは較正スルーライン73に対して選択するかを選択する。開放74、短絡83、負荷77、及び較正スルーライン73は、検査装置ポート35を伴う電子的な較正のための内部的な基準として使用される。開放74、短絡83、及び負荷77は、指向性、ソース整合、及び反射トラッキングの解を得ることを可能にする反射基準である。較正スルーライン73は、伝送トラッキングの解を得ることを可能にする。スイッチ65は、検査装置ポート35を活動状態にするか又は負荷78に接続するかを選択する。

【0037】マルチポート検査装置22は電子的な較正を可能にする。反射測定の場合には、1ポート較正が使用される。反射誤差係数、即ち、指向性 (DIR)、ソース整合 (SM)、及び、反射トラッキング (RT) を求めるには、3つの較正基準の測定が必要になる。それら3つの係数は、次の数3に従い、実際のデータ (R_COR) に関して測定データを表すために使用される。

【0038】

【数3】

$$R_{RAW} = DIR + \frac{R_{COR} \times RT}{1 - (SM \times R_{COR})}$$

【0039】該3つの係数について解を求めるために3つの既知の量の測定が行われる。この3つの既知の量は任意の量とすることが可能なものである。望ましい実施態様では、開放、短絡、及び負荷が使用される。開放とは開回路を近似した回路を意味し、短絡とは短絡回路を近似した回路を意味し、負荷とは反射係数がゼロの回路を近似した回路を意味している。

【0040】従って、各検査装置ポートのインターフェイスには、開放、短絡、及び負荷を近似した回路が含まれている。例えば、検査装置ポート36の場合には、開放76が開放のために、短絡75が短絡のために、負荷80が負荷のために用いられる。例えば、検査装置ポート35の場合には、開放74が開放のために、短絡83が短絡のために、負荷77が負荷のために用いられる。開放、短絡、及び負荷は、回路の実施を容易にするために使用されたが、それぞれが十分に異なるインピーダンスを呈するものである限り、上記以外の任意の3つの基準を使用することが可能である。係数の生成に関する更なる情報については、ヒューレットパッカード社から入手可能な、

「HP8753D Network Analyzer User's Guide」 (Part No. 08753-90257, September, 1995, pp. 6-37~6-44) を参照されたい。

【0041】伝送測定の場合、強化された応答較正 (ソース整合及び周波数応答の補正) が使用される。検査装置ポートは、対をなすように分割され、該各対の間での切り換えが可能な較正スルー経路を備えている。該較正スルー経路により、自己較正のための伝送経路が提供される。例えば、較正スルーライン73は、検査装置ポート35及び検査装置ポート36からなる対のための較正スルー

経路として機能する。

【0042】伝送に関する実際のデータ (T_COR) を計算する場合、反射誤差係数であるソース整合 (SM) 及び伝送誤差係数である伝送トラッキング (TT) を使用し、次の数4に従って、実際のトラッキング (測定) データ (T_RAW) が修正される。

【0043】

【数4】

$$T_COR = \frac{T_RAW}{TT \times (1 - SM \times R_COR)}$$

【0044】反射誤差係数であるソース整合 (SM) は、数3を解く際に計算されるので、1つの伝送誤差係数である伝送トラッキング (TT) について解を求めるには1つの測定値しか必要とされない。

【0045】望ましい実施態様の場合、自動較正の実施前に初期較正が実施される。初期較正の第1の部分は、既知の1組の基準に関して測定較正を実施する。3つの反射誤差係数及び1つの伝送誤差係数についての値を生成するため、3回の反射測定及び1回の伝送測定が実施される。測定較正は、較正キット定義 (calibration kit definition) を提供することが可能な任意のコネクタタイプにおいて任意の基準平面で実施することが可能である。一般に、測定較正の場合、較正基準は、マルチポート検査装置22とDUT23の間に配置されて可能な限りDUT23に近い平面内にある較正基準が使用される。上述のように、測定較正により、反射誤差係数である指向性 (DIR)、ソース整合 (SM)、及び反射トラッキング (RT) と、伝送誤差係数である伝送トラッキング (TT) とについての値が得られる。

【0046】検査装置内部の電子基準 (即ち、開放、短絡、負荷、及びスルー) が測定され、その結果として得られる補正項 (R_COR及びT_COR) が、測定較正による係数を使用して、電子基準の各々について計算される。内部電子基準 (即ち、開放、短絡、及び負荷の場合) は、較正基準平面の後方にあるので、負の電気的遅延を示すものとなる。反射率の高い基準 (即ち、開放及び短絡) は、1を超える反射係数の大きさを示す可能性がある。反射測定の場合、3つの反射基準 (即ち、開放、短絡、及び負荷) だけしか測定されず、各反射基準毎の値R_CORは、以降の自動較正のためにセーブされる。伝送測定の場合には、較正スルーも測定され、結果的に得られる値T_CORがセーブされる。記憶された値R_COR、T_CORは、以降の自動較正のために用いられる。電子基準は、単純で且つ極めて安定したものとなるよう設計されるので、初期較正 (測定較正を含む) は、例えば月1回といった長い間隔で繰り返せば十分である。

【0047】ネットワークアナライザ21及びマルチポート検査装置22におけるハードウェアのドリフトは、測定精度の低下を生じさせるものとなる。周期的に、例えば、30分使用する毎に、自動再較正を実施して、較正さ

れたシステムの初期の精度を回復させる。

【0048】自動再較正は、初期較正において計算された初期補正電子基準 (R_COR及びT_COR) を使用して実施される。自動再較正を実施する場合には、3つの反射基準のそれぞれについてR_RAWが測定され、各反射基準に関する記憶値R_COR (初期補正電子基準のうちの1つ) を使用して3つの反射誤差係数である指向性 (DIR)、ソース整合 (SM)、及び反射トラッキング (RT) が再計算される。また、T_RAWが測定され、記憶値T_COR (初期補正電子基準のうちの1つ) を使用して伝送誤差係数である伝送トラッキング (TT) が再計算される。

【0049】図4には、上述のような自動再較正が示されている。ステップ91で、ネットワークアナライザ21において測定誤差補正がディセーブルにされる。ステップ92では、電子的な較正基準の無補正測定が行われる。反射測定の場合には3つの反射基準が測定される。また伝送測定の場合には較正スルー経路も測定される。

【0050】ステップ93は、ステップ92で得られた測定値から誤差係数アレイが計算される。計算された誤差係数アレイは、初期較正によるものと同一の内部基準の補正測定値を提供するものとなる。初期補正電子基準に加えて、3つの反射基準の測定値により、指向性、ソース整合、及び反射トラッキングの解を求めることが可能となる。

【0051】ステップ94で、計算された誤差係数は、後続の測定に関する誤差補正に備えてネットワークアナライザ21にロードされる。

【0052】自動再較正の後、補正された内部基準の測定値は、初期較正によるものと同一になる。該自動再較正により、ネットワークアナライザ21内の反射率計の測定ドリフト、及び、マルチポート検査装置22内における、較正に用いられる内部基準の位置までの、検査装置信号経路内の全ハードウェアの測定ドリフトを除去することが可能になる。信号経路内における除去不能なドリフト源は、内部基準自体のドリフトと、マルチポート検査装置22内の信号経路において基準の後方に位置するケーブル、コネクタ、及び固定具のドリフトだけである。

【0053】ここまでは、マルチポート検査装置を含む無線周波数ネットワークアナライザシステムの較正について説明してきた。マルチポート検査装置を含まないネットワークアナライザシステムの場合には、電子基準は、ネットワークアナライザ21内においてRF出力ポート24及びRF入力ポート25の後方に移動させられる。この場合、上述の初期較正及び自動再較正は、RF出力ポート24及びRF入力ポート25を使用して実施される。この場合、RF出力ポート24及びRF入力ポート25は、ネットワークアナライザシステムの検査ポートである。

【0054】12ポートの検査装置を用いた完全な伝送較正には、通常は、考え得る132の伝送経路の全てについて特性を明らかにすることが必要になる。この較正は、そ

れに要する時間のため、高スループットの製造には不相当である。このため、製造者は、伝送経路の絶対数にまで検査を削減せざるを得ない。その結果、校正時間は短縮されるが、大規模なマルチポート装置の場合には、その経路数は依然として極めて多いものとなる。

【0055】12ポート検査装置の考え得る132の経路の全てについて自動校正を実施するためには、該132の経路の任意の経路を提供することが可能な校正マトリクスが必要になる。かかるマトリクスは、極めて複雑なものとなり、12路を超えるスイッチマトリクスでさえスイッチング検査装置をなすように設計されることになる。これにより、校正マトリクスは検査装置より不安定なものになる。このため、本発明の望ましい実施態様の場合には、異なる方法が使用される。

【0056】詳細には、伝送応答信号経路が6つの部分へと分割される。該経路の第1の部分は、ネットワークアナライザ21内にある。該経路の第2の部分は、ネットワークアナライザ21のRF出力ポート24から反射ポート28までである。該経路の第3の部分は、反射ポート28から検査装置ポート31へとRF信号を経路指定する配線及び検査装置スイッチである。該経路の第4の部分は、検査装置ポート31から検査装置ポート36までのカスタム配線及び固定具である。該経路の第5の部分は、検査装置ポート36から伝送ポート29へとRF信号を経路指定する配線及び検査装置スイッチである。該経路の第6の部分は、伝送ポート29からネットワークアナライザ21のRF入力ポート25へと戻る部分である。

【0057】校正スルー経路を有する一对の検査装置ポート間で伝送測定を実施する場合、該対のための校正スルーラインを使用することが可能である。例えば、検査装置ポート35と検査装置ポート36との間で伝送測定を実施する場合に、スイッチ67が校正スルーライン73に接続し、スイッチ64が校正スルーライン73に接続し、これにより校正スルー経路が提供される。

【0058】校正スルー経路を間に有さない（即ち「対」でない）ポート間で伝送測定が実施される場合には、反射ポート及び対をなすポートの後方の基準の反射測定、及び対をなすポートと伝送ポートとの間の校正スルー経路の伝送測定が実施される。従って、伝送信号経路応答を数学的に分離し及び任意の2つのポート間で自動校正を実施することが可能である。

【0059】図5は、校正スルー経路を間に有さない検*

$$T_{COR} = \frac{T_{RAW}}{TT} = \frac{T_{NA} \times T_{PAIR} \times T_{CALTHRU} \times T_{TRAN}}{T_{NA} \times T_{PAIR} \times T_{CUST} \times T_{TRAN}} = \frac{T_{CALTHRU}}{T_{CUST}}$$

【0065】各方向における各対毎に比（ $T_{CALTHRU}/T_{CUST}$ ）は、セーブされ、内部校正スルー経路を介した伝送測定値を、マルチポート検査装置22の対応する検査装置ポートに接続されたケーブル及び固定具を介した測定値へと数学的に変換するために使用される。

* 査装置ポート31, 36間で実施される伝送測定に関する伝送応答のさまざまな構成要素を示している。ネットワークアナライザ伝送応答（ T_{NA} ）は、ネットワークアナライザ21を介した伝送応答である。反射ポート伝送応答（ T_{REFL} ）は、反射ポート28から検査装置ポート31（反射ポート）までの経路101に沿った伝送応答である。固定具及びケーブル（ T_{CUST} ）の伝送応答は、検査装置ポート31と検査装置ポート36との間の経路102に沿った伝送応答である。

【0060】対をなすポートの伝送応答（ T_{PAIR} ）は、反射ポート28から検査装置ポート35（対をなすポート）までの経路103に沿った伝送応答である。伝送ポートの伝送応答（ T_{TRAN} ）は、検査装置ポート36（伝送ポート）から伝送ポート29までの経路105に沿った伝送応答である。校正スルー伝送応答（ $T_{CALTHRU}$ ）は、検査装置ポート35から検査装置ポート36までの経路104に沿った伝送応答である。経路10は、電子スルー校正基準（スルーラインとも呼ばれる）である。

【0061】図6は、本発明の望ましい実施態様による校正スルー経路のない2つのポートに関する伝送信号経路応答の分離と自動校正の実施を示すフローチャートである。

【0062】ステップ111において、対をなすポートと伝送ポートの間で伝送応答校正が実施される。典型的には、このステップは、初期校正において自動校正の前に実施される。この校正中に、検査装置ポート35と検査装置ポート36との間で内部校正スルー経路の測定が行われる。

【0063】この校正の結果として、内部校正スルー経路の補正測定値（ T_{COR} ）が、初期校正による伝送応答誤差係数項（ TT ）に対するネットワークアナライザ21により行われた内部校正スルー経路の無補正測定値（ T_{RAW} ）の比として計算される。内部校正スルー経路の無補正測定値（ T_{RAW} ）及び伝送応答誤差係数項（ TT ）は、上述のネットワークアナライザ伝送応答（ T_{NA} ）、固定具及びケーブルの伝送応答（ T_{CUST} ）、対をなすポートの伝送応答（ T_{PAIR} ）、伝送ポートの伝送応答（ T_{TRAN} ）、及び校正スルー伝送応答（ $T_{CALTHRU}$ ）に関して得られる。これは、次式により表される。

【0064】

【数5】

【0066】ステップ112では、検査装置ポート31（反射ポート）に関する反射トラッキング誤差係数（ RT_{Ref1} ）が、検査装置ポート31の後方の3つの反射基準の測定値と初期校正の結果とから計算される。ネットワークアナライザ21の反射応答（ R_{NA} ）及び上述の反射ポート

伝送応答 (T_{REFL}) に関し、反射トラッキング誤差係数 (RT_{Ref1}) は次式のように表される。

【0067】 $RT_{Ref1} = R_{NA} \times (T_{REFL})^2$ 該方程式において、 $(T_{REFL})^2$ は、反射ポート28から検査装置ポート31へ、更に反射ポート28へと戻る2方向損失である。

【0068】 ステップ113では、検査装置ポート35 (対をなすポート) に関する反射トラッキング誤差係数 (RT_{Pair}) が、検査装置ポート35の後方の3つの反射基準の測定値と初期較正の結果とから計算される。ネットワークアナライザ21の反射応答 (R_{NA}) 及び上述の対をなすポートの伝送応答 (T_{Pair}) に関し、検査装置ポート35についての反射トラッキング誤差係数 (RT_{Pair}) は、次式のように表される。

【0069】 $RT_{Pair} = R_{NA} \times (T_{PAIR})^2$ 該方程式において、 $(T_{PAIR})^2$ は、反射ポート28から検査装置ポート35へ、更に反射ポート28へと戻る2方向損失である。

【0070】 ステップ114では、検査装置ポート31についての反射トラッキング誤差係数 (RT_{Ref1}) と検査装置ポート35についての反射トラッキング誤差係数 (RT_{Pair}) との比が、次式のように単純化される。

【0071】

【数6】

$$\frac{RT_{Ref1}}{RT_{Pair}} = \frac{R_{NA} \times (T_{REFL})^2}{R_{NA} \times (T_{PAIR})^2} = \frac{(T_{REFL})^2}{(T_{PAIR})^2}$$

【0072】 ネットワークアナライザ21の反射応答 (R_{NA}) が、検査装置ポート31の反射トラッキング誤差係数 (RT_{Ref1}) 及び検査装置ポート35の反射トラッキング誤差係数 (RT_{Pair}) の両者と共通しているため、この項は相殺される。

【0073】 ステップ115では、次式に示すように、該 *

$$T_{SELF CAL} \times \frac{T_{REFL}}{T_{PAIR}} \times \frac{T_{CUST}}{T_{CALTHRU}}$$

$$= T_{NA} \times T_{PAIR} \times T_{CALTHRU} \times T_{TRAN} \times \frac{T_{REFL}}{T_{PAIR}} \times \frac{T_{CUST}}{T_{CALTHRU}}$$

$$= T_{NA} \times T_{REFL} \times T_{CUST} \times T_{TRAN}$$

【0079】 これは、検査装置ポート31 (反射ポート) から検査装置ポート36 (伝送ポート) までの間で行われる伝送測定に関する伝送応答誤差係数アレイである。この量は、被検査装置を切断することなく、及び検査装置ポート31と検査装置ポート36との間で実際に伝送測定を行うことなく、上述の自動較正アルゴリズムにより求められる。

【0080】 以上の説明は、単に本発明の典型的な方法及び実施態様を開示及び解説したものにすぎない。当業者には明かなように、本発明は、その思想または本質的な特徴から逸脱することなく、他の特定の形態で実施することが可能なものである。従って、本発明の開示は、その例示を意図したものであって、特許請求の範囲に規定する本発明の範囲を制限するものではない。

【0081】 以下においては、本発明の種々の構成要件

* 比の平方根が求められる。

【0074】

【数7】

$$\sqrt{\frac{RT_{Ref1}}{RT_{Pair}}} = \sqrt{\frac{(T_{REFL})^2}{(T_{PAIR})^2}} = \frac{T_{REFL}}{T_{PAIR}}$$

【0075】 該平方根を求める場合には、補正符号を選択しなければならない。平方根中の量は、正に2つの挿入損失の比であるため、最も一定したグループ遅延 (group delay) を与える符号が選択される。望ましい実施態様の場合、検査装置ポートの設計がほぼ同一であるため、損失比のグループ遅延は極めてゼロに近いはずである。グループ遅延は、周波数に対する位相の変化率である。符号は、連続する周波数測定ポイント間で比の位相変化が限りなく小さくなるように選択される。反射ポート及び対をなすポートを介した損失の比が決定されると、単にその比を乗算するだけで、該対をなすポートを介して得られた伝送測定値を反射ポートを介した測定値へと数学的に変換することができる。

【0076】 ステップ116では、ネットワークアナライザ21におけるベクトル誤差補正がオフにされる。内部較正スルー経路伝送値 ($T_{SELF CAL}$) は、次式に示すようになる。

【0077】 $T_{SELF CAL} = T_{NA} \times T_{PAIR} \times T_{CALTHRU} \times T_{TRAN}$ ステップ117では、内部較正スルー経路伝送値 ($T_{SELF CAL}$) に、ステップ114で計算された比 (T_{REFL}/T_{PAIR}) と、ステップ111で計算された比 ($T_{CALTHRU}/T_{CUST}$) とが乗算される。これを次式に示す。

【0078】

【数8】

の組み合わせからなる例示的な実施態様を示す。

【0082】 1. ネットワークアナライザシステム (21, 22) の較正を実施するための方法であって、(a) ネットワークアナライザシステム (21, 22) の各検査ポート (24, 25, 31~42) の初期較正を実施する初期較正ステップであって、(a. 1) ネットワークアナライザシステム (21, 22) の外部に配置された基準平面内に位置する較正基準を使用して測定較正を実施して初期較正係数を生成し、(a. 2) ネットワークアナライザシステム (21, 22) 内の電子基準 (73~77, 80, 83) を測定して初期測定電子基準を生成し、(a. 3) 前記初期較正係数及び前記測定電子基準を使用して初期補正電子基準を生成する、という各サブステップを含む、初期較正ステップと、(b) 自動再較正を実施する自動再較正ステップであって、(b. 1) ネットワークアナライザシステム (21, 22) 内の電子基準 (73~77, 80, 83) を測

定して再校正測定電子基準を生成し、(b.2)該再校正測定電子基準及び前記初期補正電子基準を使用して再計算校正係数を生成する、という各サブステップを含む、自動再校正ステップとを有することを特徴とする、ネットワークアナライザシステムの校正方法。

【0083】2. 前記サブステップ(a.2)において、電子基準(73~77,80,83)が、開放(74,76)、短絡(75,83)、及び負荷(77,80)を近似する、前項1に記載の方法。

【0084】3. 前記サブステップ(a.1)において、前記初期校正係数が、3つの反射誤差係数、即ち、指向性(DIR)、ソース整合(SM)、及び反射トラッキング(RT)と、1つの伝送誤差係数、即ち、伝送トラッキング(TT)とを含んでいる、前項1に記載の方法。

【0085】4. 前記サブステップ(a.1)において、反射校正基準についての測定値(R_RAW)が、次式に従い、該反射校正基準についての補正值(R_COR)に関連する、前項3に記載の方法。

【0086】

【数9】

$$R_RAW = DIR + \frac{R_COR \times RT}{1 - (SM \times R_COR)}$$

【0087】5. 前記サブステップ(a.1)において、伝送校正基準についての測定値(T_RAW)が、次式に従い、該伝送校正基準についての補正值(T_COR)に関連する、前項3に記載の方法。

【0088】

【数10】

$$T_COR = \frac{T_RAW}{TT \times (1 - SM \times R_COR)}$$

【0089】6. 前記サブステップ(a.3)において、前記初期補正電子基準が反射校正基準を含んでおり、該反射校正基準についての測定値(R_RAW)が、次式に従い、反射校正基準に関する補正值(R_COR)に関連する、前項3に記載の方法。

【0090】

【数11】

$$R_RAW = DIR + \frac{R_COR \times RT}{1 - (SM \times R_COR)}$$

【0091】7. 前記サブステップ(a.3)において、前記初期補正電子基準が伝送校正基準を含んでおり、該伝送校正基準についての測定値(T_RAW)が、次式に従い、該伝送校正基準に関する補正值(T_COR)に関連する、前項3に記載の方法。

【0092】

【数12】

$$T_COR = \frac{T_RAW}{TT \times (1 - SM \times R_COR)}$$

【0093】8. 前記ネットワークアナライザシステム(21,22)が、マルチポート検査装置(22)に接続されたネットワークアナライザ(21)を備えており、該ネットワー

クアナライザシステム(21,22)の前記検査ポート(24,25,31~42)が、前記マルチポート検査装置(22)の検査装置ポート(31~42)である、前項1に記載の方法。

【0094】9. 前記検査装置ポート(31~42)が、対をなすように分割され、前記サブステップ(a.1)が、前記検査装置ポート(31~42)の各対毎に伝送係数を生成するために使用されるサブステップ、即ち、(a.1.1)固定具及びケーブルの伝送応答と校正スルー伝送応答との第1の比を求め、この場合に、該校正スルー伝送応答が、校正スルーラインを使用して検査装置ポート(31~42)の各対を電気的に接続することにより求められ、及び前記固定具及びケーブルの伝送応答が、固定具及びケーブルを使用して検査装置ポート(31~42)の各対を互いに電気的に接続することにより求められる、というサブステップを含む、前項8に記載の方法。

【0095】10. 第2の検査装置ポート(36)が第3の検査装置ポート(35)と対をなしている場合に第1の検査装置ポート(31)と前記第2の検査装置ポート(36)との間における伝送応答誤差係数を計算する際に、前記サブステップ(b.1)が、前記第3の検査装置ポート(35)と前記第2の検査装置ポート(36)との間における内部校正スルー経路伝送値の伝送応答を測定することを含み、前記サブステップ(b.2)が、前記サブステップ(b.1)で測定された前記第3の検査装置ポート(35)と前記第2の検査装置ポート(36)との間における内部校正スルー経路伝送値の伝送応答に、前記第3の検査装置ポート(35)と前記第2の検査装置ポート(36)との間の内部校正スルー経路伝送値に関して前記サブステップ(a.1.1)で計算された第1の比と、前記マルチポート検査装置の反射入力と前記第3のポートとの間の伝送応答に対する前記マルチポート検査装置の反射入力と前記第1のポートとの間の伝送応答の比である第2の比とを乗算することを含む、前項9に記載の方法。

【図面の簡単な説明】

【図1】マルチポート検査装置を用いた被検査装置に対するネットワークアナライザの接続の概要を示すブロック図である。

【図2】従来技術による無線周波数ネットワークアナライザを簡略化して示すブロック図である。

【図3】本発明の望ましい実施態様によるマルチポート検査装置の一部を示す説明図である。

【図4】本発明の望ましい実施態様による自動再校正を示すフローチャートである。

【図5】本発明の望ましい実施態様による自動校正で用いられる校正スルー経路の概要を示すブロック図である。

【図6】本発明の望ましい実施態様による校正スルー経路の存在しない2つのポートについての伝送信号経路応答の分離と自動校正の実施とを示すフローチャートである。

【符号の説明】

21, 22 ネットワークアナライザシステム()
 24 RF出力ポート
 25 RF入力ポート
 31~42 検査装置ポート

* 73

74, 76

75, 83

77~80

*

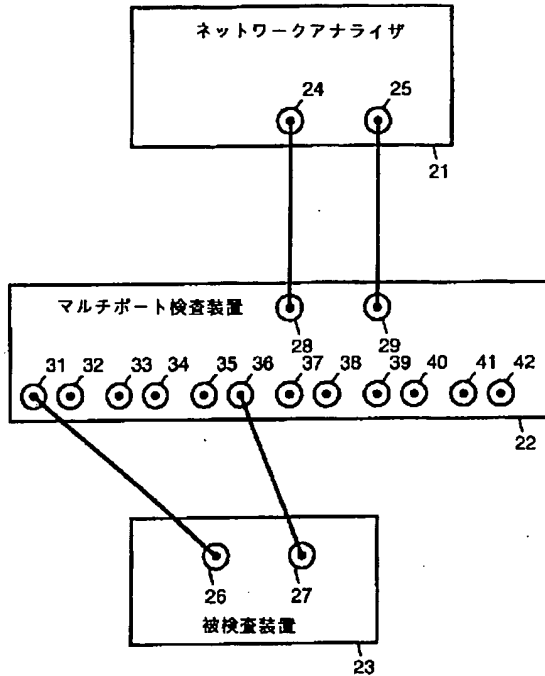
校正スルーライン

開放

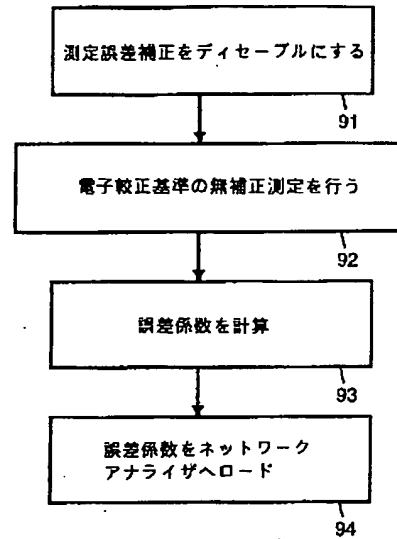
短絡

負荷

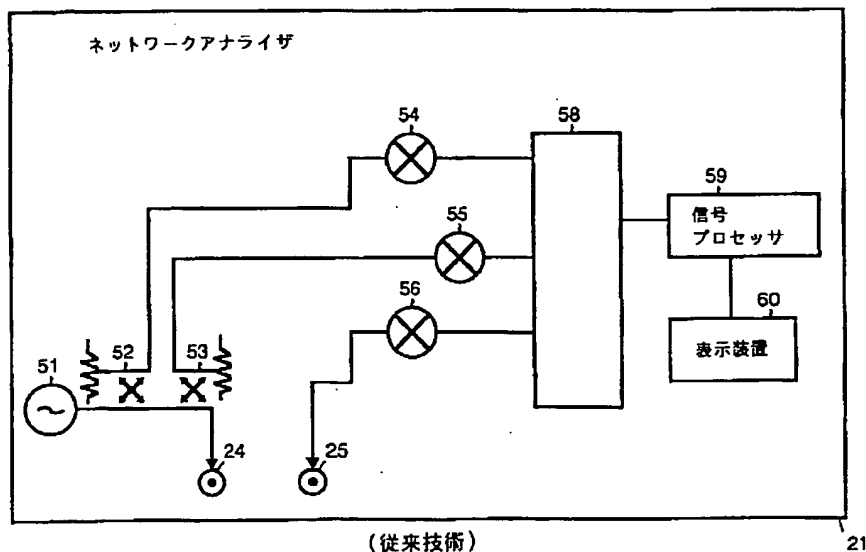
【図1】



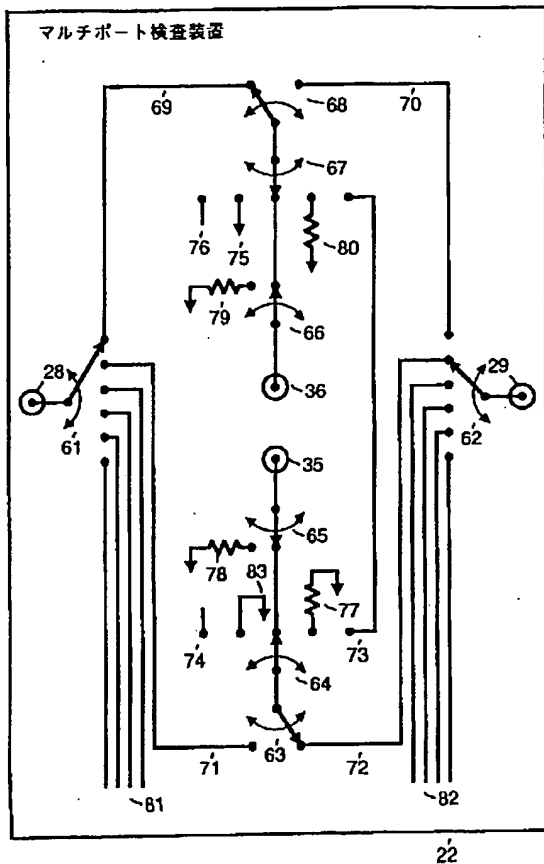
【図4】



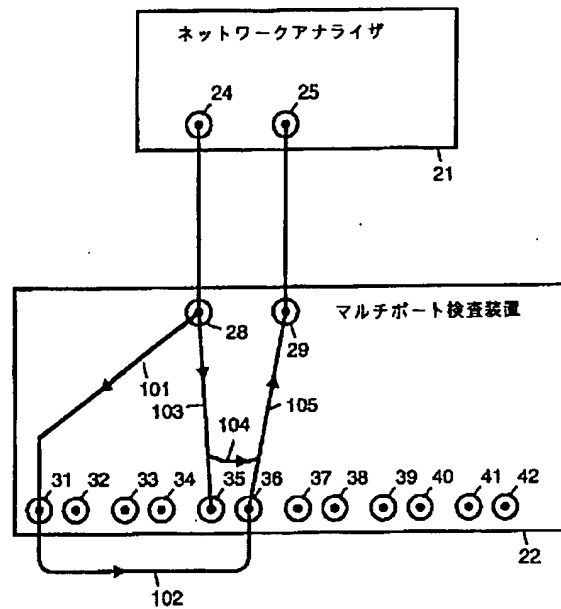
【図2】



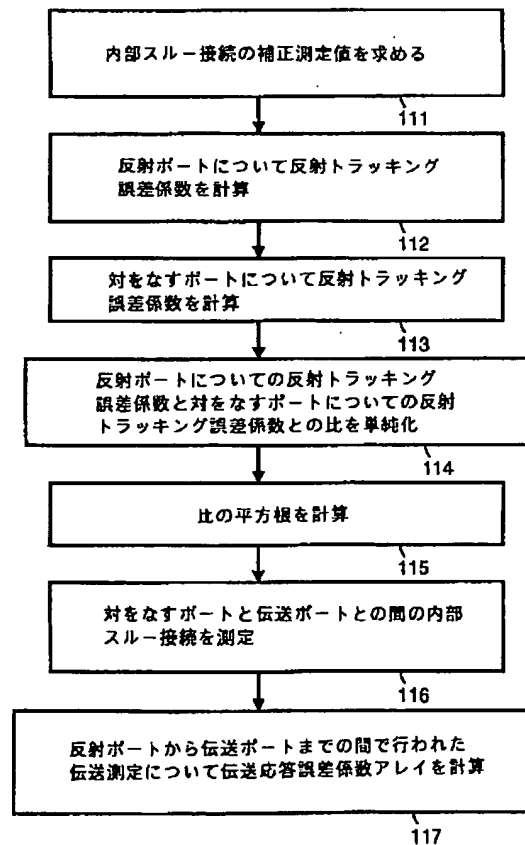
【図3】



【図5】



【図6】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第1区分

【発行日】平成17年10月27日(2005.10.27)

【公開番号】特開平11-118853

【公開日】平成11年4月30日(1999.4.30)

【出願番号】特願平10-228121

【国際特許分類第7版】

G 0 1 R 27/28

G 0 1 R 35/00

【F I】

G 0 1 R 27/28 Z

G 0 1 R 35/00 J

【手続補正書】

【提出日】平成17年7月27日(2005.7.27)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

ネットワークアナライザシステムの較正を実施するための方法であって、

(a) 前記ネットワークアナライザシステムの検査ポートごとに初期較正を実施するステップであって、

(a. 1) 較正基準を使用して測定較正を実施するサブステップであって、

前記較正基準は、前記ネットワークアナライザシステムの外部に配置された基準平面内に配置されており、

前記測定較正は、初期較正係数をもたらしことからなる、サブステップと、

(a. 2) 前記ネットワークアナライザシステム内における電子基準を測定して、初期測定電子基準を生成する、サブステップと、

(a. 3) 前記初期較正係数と前記初期測定電子基準とを使用して、初期補正電子基準を生成する、サブステップ

とを含むことからなる、ステップと、

(b) 前記検査ポートごとに自動再較正を実施するステップであって、

前記自動再較正は、ステップ(a)における全ての検査ポートの初期較正の後に実施され、且つ、前記ネットワークアナライザシステムの外部に配置された基準平面内に配置された較正基準を使用すること無く実施され、

前記自動再較正は、

(b. 1) 前記ネットワークアナライザシステム内における前記電子基準を測定して、再較正測定電子基準を生成する、サブステップと、

(b. 2) 前記再較正測定電子基準と前記初期補正電子基準とを使用して、再計算較正係数を生成する、サブステップ

とを含むことからなる、ステップ

とを含む、方法。

【請求項2】

前記サブステップ(a. 2)において、前記電子基準は、開放、短絡、及び負荷を近似することからなる、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記サブステップ(a. 1)において、前記初期較正係数は、

3つの反射誤差係数、すなわち、指向性(DIR)、ソース整合(SM)、及び反射トラッキング(RT)と、

1つの伝送誤差係数、すなわち、伝送トラッキング(TT)
とを含むことからなる、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記サブステップ(a. 1)において、反射較正基準についての測定値(R_RAW)
は、次の式、すなわち、

$$R_RAW = DIR + (R_COR \times RT) / (1 - (SM \times R_COR))$$

に従って、該反射較正基準についての補正值(R_COR)に関連付けられることからなる、請求項3に記載の方法。